

BENEFICIOS TERMO-ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS OBTENIDOS EN LA SIMULACIÓN DE ESTRATEGIAS PASIVAS APLICADAS A LA VINIFICACIÓN

Alba Ramos Sanz^{1,2}; Luis Juanicó^{1,3}; Ernesto Kuchen^{1,2}

¹ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)

² Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA). San Juan, República Argentina

³ Departamento de Combustibles Nucleares, Centro Atómico Bariloche. Rio Negro, República Argentina.

Recibido 03/08/16, aceptado 02/10/16

RESUMEN: Se intenta demostrar el efecto de la aplicación de estrategias pasivas sobre la demanda térmica en tanques de conservación del vino, en un escenario cálido de clima árido-continental. Los datos empíricos del caso y del entorno climático se recogen con sensores y asisten al modelado, integrando variables climáticas y físicas, tanto de la envoltura de la bodega y del tanque así como de la masa del vino. Se instrumentan las variables físicas que definen el modelo experimentando las estrategias pasivas con variables económicas -inversión requerida, ahorro monetario implícito en la demanda termo-energética y el retorno, estimado en años-. Las conclusiones indican que la incorporación de aislación térmica sobre la superficie exterior del tanque es la menos eficiente entre las estrategias simuladas. En contraposición, los mayores beneficios térmicos, energéticos y económicos se obtienen mediante la construcción de cavas y/o depósitos subterráneos.

Palabras Clave: uso racional de la energía, vinificación, diseño bioclimático

INTRODUCCIÓN

Los establecimientos de vinificación son energético-dependientes: su rentabilidad decrece con el incremento del precio de la energía y su requerimiento eléctrico es superior en la medida que aumenta la calidad del vino elaborado. El precio de la electricidad en algunos países vitivinícolas presenta una tasa subsidiada para la industria. Este es el caso de EEUU cuyo costo es de US\$ 0,07/kWh, y de Argentina, el cual implica US\$ 0,03 /kWh. Ambos países se encuentran entre los cinco mayores productores de vinos del mundo, con 15 millones de hectolitros y 22 millones de hectolitros, respectivamente. Según datos oficiales en Argentina el 25 % de la demanda energética corresponde al sector industrial. De este total el 35 % de la energía utilizada es eléctrica, de fuentes secundarias. Aproximadamente el 60 % corresponde a gas distribuido en redes y el resto (15 %) a diversos tipos. La demanda energética en las bodegas es estacional y se incrementa significativamente durante la molienda y fermentación, coincidente con el período cálido del año. En EEUU¹, los requerimientos de frío en los ámbitos de fermentación y conservación comprenden el 23 % de la carga total de frío en una bodega (Galitsky *et al*; 2005). Otras fuentes (Department of Industry, Tourism and Resources; 2012) aseguran que la demanda energética en refrigeración es entre el 40 % y el 60 % de la demanda total en bodega. Por su parte (Ramos Sanz, 2014), sugiere que el requerimiento energético en los fermentadores es entre el 50 % y el 70 % de la demanda energética de la bodega.

En una bodega, la demanda energética se origina en los procesos térmicos de fermentación y conservación del vino elaborado. El acondicionamiento térmico del vino es el problema fundamental de la vinificación. En particular, la conservación del vino obtenido persigue la estabilidad térmica a lo largo del año. Una variación térmica importante en el vino provoca la decantación de sustancias, ensuciando la limpidez del mismo. En clima árido las variaciones térmicas diarias y estacionales son acusadas y para la conservación de la temperatura adecuada, es necesario dar respuesta a los condicionantes climáticos. Las envolturas apropiadas al clima permiten reducir la dependencia termo-energética de la bodega durante la conservación del vino. Dependiendo de factores tales como las características físicas de la envoltura edilicia (galpón), la envoltura de vinificación (depósito o

tanque) y el clima, esta demanda energética puede variar. La elaboración de un litro de vino fino implica un costo en infraestructura y regulación térmica superior a un litro de vino común, dada las bajas temperaturas requeridas por el primero. Como regla general, mientras más prolongado es el periodo de conservación, más bajas y constantes deben ser las temperaturas. Asimismo mientras más alta la calidad del producto, se requieren temperaturas más bajas y constantes.

Antecedentes

En las economías vitivinícolas del mundo como el Reino Unido, Australia y Estados Unidos, se promueve la búsqueda de soluciones a las elevadas demandas energéticas de las bodegas. Best Winery (2005; EEUU), British Columbia Sustainable Winegrowing Program (2011; UK) y Winery Energy Saving Toolkit (2014; AU) son algunas herramientas desarrolladas por dichos países. Mientras que los resultados cuantitativos normalizados de la aplicación de estrategias pasivas son conocidos en casos de viviendas y edificios residenciales, comerciales y administrativos, son escasos los estudios sistemáticos sobre estos potenciales aplicados a la industria del vino. No se tiene conocimiento de experimentación termo-energética en modelos semi-empíricos de la envolvente de tanques de conservación del vino. Sin embargo, se citan algunos datos referidos al impacto de la implementación de mejoras pasivas sobre la envolvente de bodega, mediante metodologías diversas.

Franson (2000, en *Martín Ocaña, S.; Cañas, I.*) indica que la construcción de cavas reduce los costos energéticos en refrigeración del vino en un 10 %, recuperando la inversión en siete años.

Galitsky, C.; *et al* (Benchmarking and Energy and Water Savings Tool for the wine industry, 2005), señala que el aislamiento térmico de los tanques incide en un ahorro medio del 25 % de energía en refrigeración. Sin embargo en este estudio como en Franson, no quedan establecidos los datos de temperatura del ambiente exterior ni las características de la envolvente de bodega. Los valores porcentuales son asimismo indeterminados en cuanto al costo de la electricidad y demanda térmica por volumen de vino conservado.

Un estudio más preciso, desarrollado por Forsyth, K. (2012) señala un costo en refrigeración de \$ 0,007/HL de vino por semana –asumiendo un precio de electricidad de \$ 0,15/kWh- para conservar la temperatura en 5 °C. En salas más cálidas este costo asciende a \$ 0,022/HL por semana para mantener la misma temperatura. Este caso se asienta en una zona cálido-árida, con temperaturas medias exteriores semejantes a la del presente estudio.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



Fig. 1: Imagen satelital del Valle del Tulum, Ullum y Zonda, en la Provincia de San Juan.

El valle del Tulum, donde se asienta la ciudad de San Juan, es entre los climas cálidos secos de América del Sur, el más extremo. Se ubica a 600 msnm, en los 30° 52' de Latitud Sur y 68° 59' de Longitud en dirección Oeste. Como en otras regiones vitivinícolas del mundo, la marcada amplitud térmica del clima continental agudiza la dependencia energética de la vinificación. Este tipo de clima se caracteriza por un *terroir* que se repite, por ejemplo en la zona vitivinícola de la *Sierra Foothills*. Las temperaturas medias máximas de verano (TMX; 33 °C) y las temperaturas medias mínimas de invierno (TMN; ≈12 °C) entre ambas localidades vitivinícolas son similares, siendo Sacramento un poco más cálido en invierno debido a su mayor humedad ambiental.

El Valle del Tulum es una zona cálida, con amplitudes térmicas diarias superiores a los +/- 14 K (IRAM11603, 1996). A lo largo del año, los vientos son de dirección predominantemente Sur. La velocidad de los mismos se duplica en verano, alcanzando una media de 13 Km/h.

Intensidad de la radiación solar

El efecto de la radiación solar es determinante en la carga de frío de las agroindustrias. En verano, los sensores HOBBO U12 T12 instalados en el predio de estudio, registran una intensidad de hasta 850 W/m² en horas del mediodía. En esta época, los aportes solares son significativos sobre el plano horizontal y este-oeste. En invierno, las superficies orientadas al norte reciben los rayos directos durante más horas y mayor intensidad que las demás orientaciones.

METODOLOGÍA

Relevamiento del caso

Este trabajo contempla un valor promedio de temperatura anual de conservación del vino igual a 15 °C. Este parámetro es comúnmente manejado en otros lugares del mundo, a veces como límite máximo. Sin embargo algunos autores sostienen que en clima cálido este parámetro es posible siempre y cuando sea prácticamente invariable.

Se escoge un caso representativo de la tecnología de vinificación de gran difusión a nivel internacional. Los tanques de acero inoxidable instalados en el interior de una bodega, se emplean para la fermentación del mosto y luego se reutilizan para una breve conservación.



Fig. 2: Perspectiva frontal del tanque o vasija de vinificación. En el espacio central de su envolvente se encuentra la camisa de refrigeración.

El caso analizado presenta una capacidad de 36000 L y dispone de una camisa de refrigeración, conectada al sistema de frío de la bodega. Para garantizar las condiciones térmicas del vino, este tanque se complementa con sistemas de frío centralizado.

a- Demanda energética de la bodega

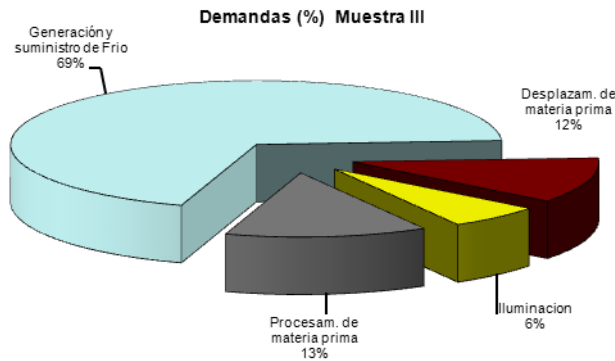


Fig. 3: Demanda energética (%) durante el relevamiento 2011 en la bodega elaboradora de vinos finos.

La demanda energética media anual en la bodega seleccionada es de 27000 kWh, con una máxima de 25633,28 kWh/mes. Mediante el relevamiento de la bodega se confirma que la mayor parte de esta demanda tiene su origen en el funcionamiento del equipo de frío (69 %). El procesamiento de materia prima requiere el 13 % de la demanda energética total. El desplazamiento de materia prima tiene una demanda aproximada (12 %), igual a 4146 kWh/mes. La iluminación presenta poca incidencia en la demanda energética total, alcanzando un 6 %.

El empleo de ventiladores en el sistema de frío comprende el 54 % de la demanda en refrigeración (13842 kWh/mes). Este valor supone también el 34,4 % de la demanda energética total.

b- Monitoreo higo-térmico

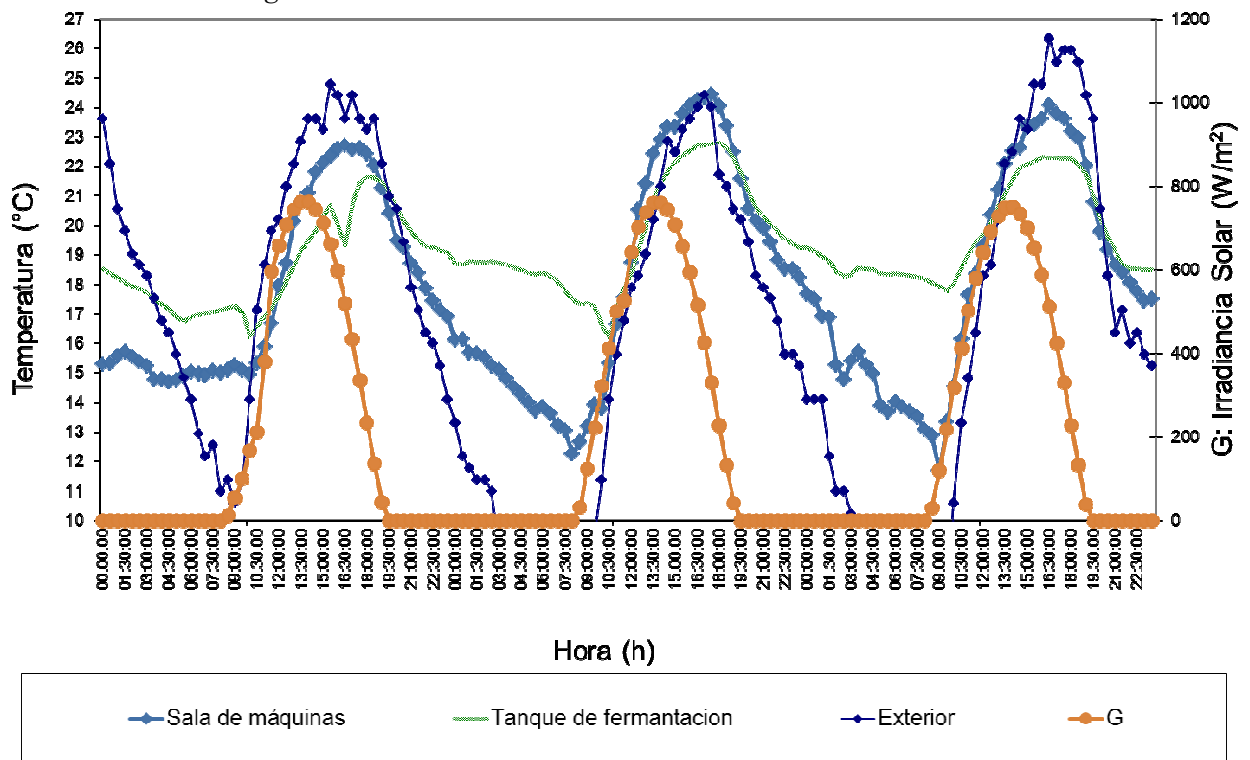


Fig. 4: Segmento temporal de tres días del seguimiento térmico del caso analizado (EV), el espacio interior de la bodega, la irradiancia solar y la temperatura exterior.

Se llevan a cabo mediciones realizadas con sensores data-loggers *HOBO U12 T12*, localizados en tres sitios; el seno del vino, el interior de la bodega y el ambiente exterior. Las lecturas de temperatura, humedad relativa e iluminancia se registraron cada media hora durante el periodo de cincuenta días corridos. Este seguimiento permite validar el modelo físico elaborado para el tanque y la bodega. Se

obtiene la información empírica para determinar los valores de T_e (°C), T_i (°C), Irradiancia solar (W/m^2) y Humedad Relativa (%). Con estos datos se establecen las desviaciones estándar, momentos y duración de los valores máximos, mínimos y promedios. Con el seguimiento térmico se demuestra la incidencia de las temperaturas exteriores sobre la demanda del equipo de frío. En la Fig. 4: se observa la amortiguación térmica del vino, frente a las oscilaciones térmicas exteriores. Puede notarse que el aire en el interior de la bodega reproduce esta sinusoide, prácticamente sin retardo alguno.

c- Modelo físico

Con los datos estadísticos y empíricos, se desarrolla un modelo físico del tanque de conservación y de la bodega. Se realiza un análisis en régimen estacionario y se definen condiciones de frontera de convección y radiación combinadas. La transferencia de calor se estima en dirección perpendicular al plano de las superficies de tanque y bodega. El modelo no contempla puentes térmicos, ya que la envolvente es homogénea y se supone que la masa del vino no presenta estratificación térmica. Esto halla su fundamento en la alta eficacia del sistema de frío con camisa de refrigeración y el reducido volumen del sistema de control.

Se estiman los coeficientes de intercambio térmico superficial interior y exterior, h_i y h_e mediante los números adimensionales. Los intercambios por convección natural en el interior de la vasija se obtienen a partir de los números adimensionales de *Nusselt* (Nu), *Rayleigh* (Ra) y *Prandtl* (Pr). Para determinar la convección forzada en el exterior se estima Nu a partir del número de *Reynolds* (Re). En el interior de la bodega, la convección es natural y su flujo se desplaza en dirección ascendente. Esta suposición se verifica con los valores de Nu (3). Para el cálculo de la convección natural o forzada en el vino (h_{ic}), se propone el siguiente modelo empírico;

$$h_{ic} = \frac{Nu \cdot \alpha_{fluido}}{H} \quad (1)$$

Para la convección natural, se obtiene Nu mediante;

$$Nu = 0,678 Ra^{1/4} \left(\frac{Pr}{0,952} + Pr \right)^{1/4} \quad (2)$$

$$Ra = \frac{g \left(\frac{1}{273,15} + T_e \right) [(T_e - T) H^3]}{\nu_{fluido} \alpha_{fluido}} \quad (3)$$

$$Pr = \frac{\nu_{fluido}}{\alpha_{fluido}} \quad (4)$$

En la superficie exterior del tanque se plantean dos situaciones; la real (dentro de la bodega) y la experimental (a la intemperie, bajo sombra o descubierta). En aquellas bodegas que conforman un espacio cerrado, la velocidad del aire se estima en 0,20 m/seg. Conformando dos áreas estancas, una fría abajo y una caliente arriba, la convección es mínima $h_{ic} = 1,16 W/m^2 \text{ } ^\circ C$.

En el ambiente exterior a la bodega, el coeficiente de intercambio térmico por convección se obtiene mediante (2);

$$h_{ec} = \frac{Nu \cdot \alpha_{fluido}}{H} \quad (5)$$

$$Nu = [0,32 + 0,43 Re^{0,52}] \quad (6)$$

La energía neta que capta un elemento opaco expuesto a la radiación solar se obtiene a partir de la siguiente expresión;

$$Qr = \alpha I + \epsilon \sigma (T_{atm}^4 - T_{sup}^4) \quad (7)$$

En las situaciones experimentales que implican estrategias de construcción de depósitos subterráneos, se estima la variación térmica y la naturaleza de los estratos del suelo. En la localidad seleccionada, el régimen de temperatura del suelo es *térmico*, con valores de temperatura media anual (TMA) entre los 15 °C y los 22 °C. Hacia los estratos montañosos la TMA va descendiendo; en la pre-cordillera la TMA es de entre 8 y 15 °C y en la Cordillera de los Andes la TMA es inferior a los 8 °C.

Hasta los primeros 7 m de profundidad el suelo se compone de tierra vegetal y desde los 8 m hasta los 43 m se encuentran los estratos arenosos. Para determinar las condiciones térmicas a cualquier profundidad z , se utiliza la ecuación de Labs, K (1982).

$$T_{(z,t)} = (T_{m,suelo}) - A_s \cdot (\sin \omega) \cdot e^{-\frac{z}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \alpha}} \cdot \cos \left[\frac{2 \pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{x}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot \alpha}} \right) \right]} \quad (8)$$

Cuando la $T_{m,suelo}$ no se conoce suele utilizarse el valor de la $T_{m,aire}$. En este caso se recurre a los datos de TMA expresados anteriormente. La diferencia de tiempo implica el desfase que presenta la onda térmica del aire a la profundidad indicada. En la Fig.5, se observa que los periodos próximos a las temperaturas exteriores más elevadas presentan temperaturas superiores a las de desfases mayores en el tiempo. Por ejemplo los casos indicados para 340 (en rojo) corresponden al día 6 del mes 12, y los indicados para 60 señalan el día 1 del mes 4 y presentan temperaturas inferiores a $t=340$ y $t=360$.

Se observa que a partir de los 5 m la temperatura del suelo permanece estable a 15 °C y aumenta conforme se aproxima a la superficie del terreno. La aplicación de esta ecuación experimental ha dado resultados válidos en EEUU, Australia y Portugal.

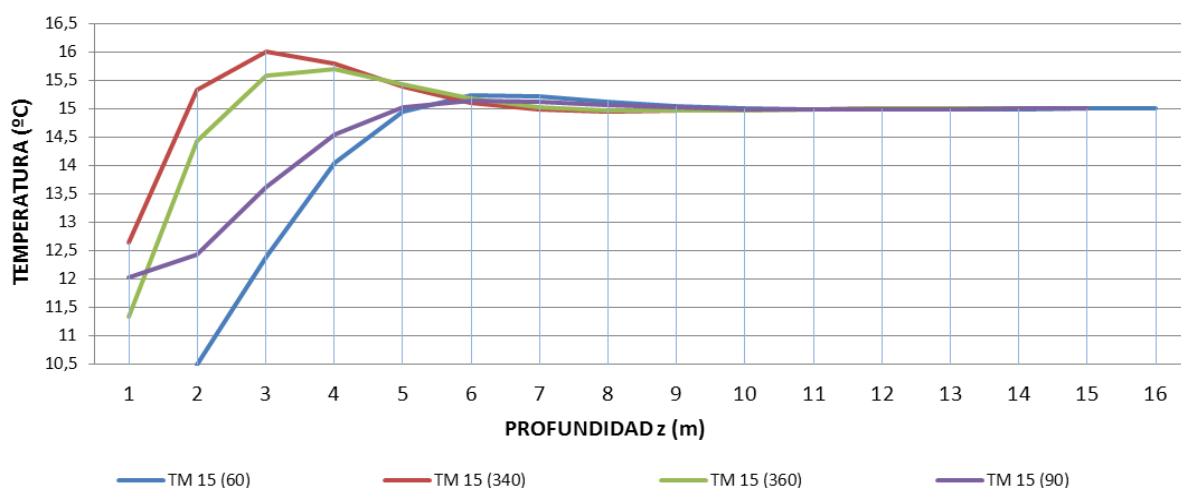


Fig. 5: Variación de temperatura a distintas profundidades (z) del suelo, para diferentes momentos del año y para una temperatura media del suelo igual a 15 °C, correspondiente al régimen térmico.

d- Implicancias económico-energéticas de las estrategias pasivas

Se incorpora la variable económica para definir la conveniencia de las estrategias pasivas experimentadas, en proporción al potencial ahorro térmico. Se compara la situación más desfavorable energéticamente -el tanque expuesto a la intemperie- frente a las opciones simuladas. Se considera la inversión económica para la ejecución material de las mejoras en relación al ahorro económico en energía para refrigeración. Se considera el periodo cálido (4 meses/año) como duración de la demanda energética para la conservación de la estabilidad térmica del vino. Las medidas se ponderan a partir de su rentabilidad en cuanto a la inversión realizada, el ahorro termo-energético obtenido y el *retorno* estimado en años.

RESULTADOS

Se modelan y experimentan las siguientes situaciones;

- I. Enterramiento, cella vinaria o depósito subterráneo.
- II. Exposición del tanque a la radiación solar con reforzamiento adiabático mediante espuma de poliuretano.
- III. Exposición directa del tanque a la radiación solar, sin mejoras.
- IV. Tanque a la intemperie, bajo una estructura metálica con cubierta liviana.
- V. Dentro de la sala de conservación sobre rasante, con escasa ventilación.
- VI. Ídem anterior, con reforzamiento adiabático en cubierta y muros para espesores (e) desde 0,04 m; a 0,08 m y hasta 0,12 m.

Los resultados de la simulación indican que en vasijas expuestas a la radiación solar, la incorporación de un aislante térmico no reduce significativamente la demanda de frío (Fig. 6:). En un tanque a la intemperie, afectado por las brisas y protegido de la incidencia del sol, la carga térmica se reduce a más de la mitad.

Se determina que la incorporación de aislante térmico en muros y cubierta de la bodega resulta efectivo en la medida que éste alcance un espesor mínimo de 0,12 m. Entre los 0,04 m y los 0,08 m de espesor de poliestireno, los ahorros en la demanda térmica no difieren entre sí y reducen el 3,5 % de la misma. La aplicación de 0,12 m de telgopor (tres planchas), permite el ahorro de un 54 % del total de la demanda de frío.

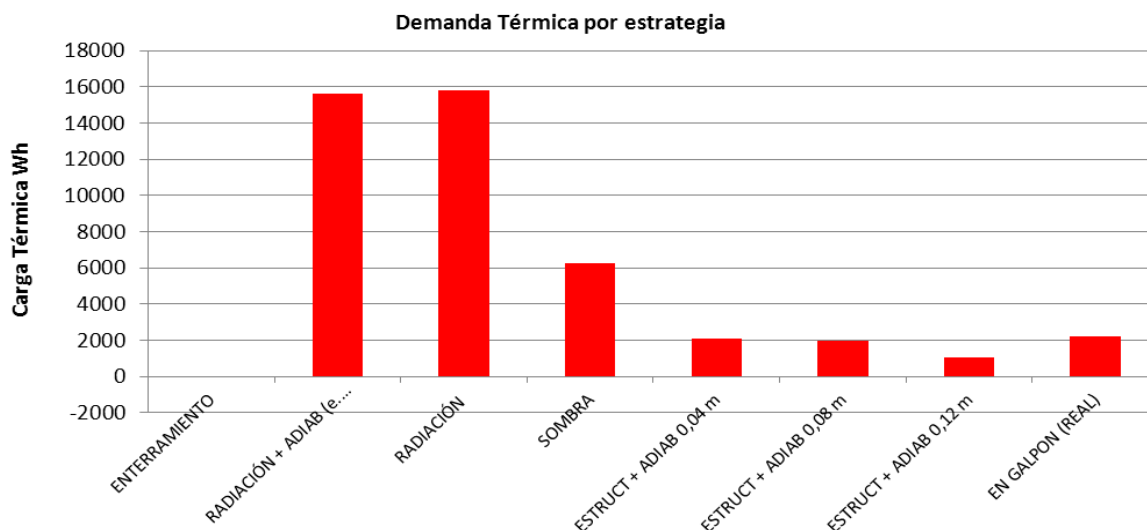


Fig. 6: Carga térmica (Wh) resultante de las situaciones simuladas para la vasija de vinificación analizada a la temperatura media máxima (TMX), durante el período cálido del año.

Los mayores ahorros de cargas térmicas se alcanzan mediante el enterramiento del tanque. Alojar el mismo en una cava o emplear directamente un depósito de vino de mampostería u hormigón armado, permite prescindir de equipos de acondicionamiento térmico. Anteriores seguimientos térmicos de casos subterráneos indican una amortiguación de las variaciones climáticas que garantiza la estabilidad térmica del vino. Sin embargo, la temperatura del vino tiende a estabilizarse con la TMED en 26,4 °C, ampliamente superiores a los 15 °C admisibles para la conservación.

Respecto de las inversiones económicas requeridas para cada medida y el ahorro monetario en energía eléctrica cabe incorporar un factor político al estudio. El presente trabajo se desarrolló en el año 2015 ante un escenario político de industrialización nacional. El cambio político en 2016 afectó esta realidad mediante la quita de subsidio a la energía eléctrica, cuyos costos se incrementaron en un 300 %. Integrando las variables económicas, los resultados señalan entre las estrategias menos eficientes la incorporación de aislación térmica -espuma de poliuretano- sobre la superficie exterior del tanque. Aunque es conveniente por su economía, no proporciona ahorros energéticos significativos sobre la demanda de frío. El ahorro en energía eléctrica anual es tan reducido que el *retorno* de esta medida se obtiene a los 57 años en el escenario industrialista de 2015, y tan solo a los 12 años en la actualidad.

La construcción de un tinglado reduce la carga de frío en un 60 %, presentando un *retorno* de 12 años (2015) y en 3 años en el escenario actual. Sin embargo la variación térmica horaria en el vino (0,17 K) es acentuada. Esta mejora debe complementarse necesariamente con un sistema de frío.

La construcción de una bodega donde asentar los tanques, promueve un ahorro energético significativo y si bien la medida se encuentra entre las inversiones más importantes (ARS\$ 2500/HL de vino) -sin contemplar el costo de la vasija- ésta resulta rentable. El dinero invertido se recupera en 17 años (2015) y en 5 años en la actualidad (2016). La carga de frío se reduce en un 86 % del total.

La construcción de una bodega con incorporación de planchas de poliestireno expandido extiende su *retorno* hasta 17 años (2015) y actualmente en tan sólo 5 años, dependiendo del espesor del aislante. Para un espesor de 0,12 m sobre muros y cubierta de la bodega, la inversión se recupera en el mismo año.

La estrategia más efectiva es la construcción de un depósito de vino o una cella vinaria. Esta medida requiere una inversión inicial significativa (ARS\$1889/HL), menor que la construcción de una bodega sobre rasante. En esta mejora, el terreno natural funciona como un sumidero de calor promoviendo una variación térmica horaria reducida (-0,0021 K/h). Éste efecto se debe a la tendencia de la masa del vino a estabilizarse con la TMED del terreno, ubicada entre los 15 °C y 16 °C (Ver Fig. 5). El vino

tiene gran inercia térmica debido a su contenido de agua, por lo que es más recomendable un depósito de vino o cisterna que una cava. Esto tiene su razón en la mayor capacidad calorífica del agua. Los monitoreos térmicos realizados en 0 a cisternas de conservación confirman que la TMED del aire se manifiesta en el cuerpo del vino con meses de retardo. El *retorno* de esta medida es de 12 años en un contexto industrialista y de 3 años en el actual escenario político, dado el gran ahorro energético en refrigeración.

CONCLUSIONES

En el mundo son pocos los países vitivinícolas cuya tarifa eléctrica se halla subsidiada en la proporción significativa que se observaba en Argentina hasta 2015 y EEUU actualmente, por citar algunos ejemplos. En Europa la energía eléctrica es más costosa y en este sentido el *retorno* de las estrategias pasivas se acorta significativamente. A partir del año 2016 en Argentina se implementa la quita de subsidios a la energía eléctrica, ascendiendo abruptamente el costo del KWh de ARS\$ 0,30 a ARS\$ 1,43. En este sentido, en el escenario cortoplacista la rentabilidad de las estrategias pasivas se ve incrementada en un 300 % y se recorta el *retorno* a $\frac{1}{4}$ del tiempo estimado hasta el año 2015. Sin embargo los ahorros termo-energéticos continúan siendo los estimados para ambos escenarios político-económicos nacionales. La necesidad de implementar mejoras pasivas a la industria se ve urgida por un decremento en la rentabilidad del producto, factor relativamente nuevo, que verá su impacto en el transcurso de los próximos años.

Las técnicas de construcción constituyen una marcada diferencia entre zonas vitivinícolas, por ejemplo en EEUU es práctica común la construcción prefabricada, mientras en Argentina se construye in-situ, con materiales tradicionales. Este factor implica mayores tiempos de obra y largas inversiones –además de una baja accesibilidad a créditos bancarios- promoviendo la conservación y restauración de estructuras preexistentes, tales como los depósitos subterráneos de vino. En Argentina esta técnica de guardado del vino se difundió masivamente y hasta la actualidad el 68% del vino elaborado reposa en este tipo de depósitos. En EEUU –como en otros países vitivinícolas industrializados -, la disponibilidad de tecnología se manifiesta en las bodegas, dejando de lado las ancestrales técnicas pasivas de conservación del vino.

Se precisan algunas diferencias con Franson, (2000, en Martín Ocaña, S.; Cañas, I.), con el cual el *retorno* es menor en la actualidad nacional (en 3 años) y el porcentaje de ahorro de los costos energéticos es mayor también en Argentina. Lo mismo sucede al comparar el trabajo de Galitsky, C.; et al; (2005), cuando señala un ahorro entre el 20 al 30 % de energía en refrigeración, frente a un ahorro mayor al 50% de la carga térmica demostrado en el presente trabajo. El origen de estas diferencias lo constituye la infraestructura que dispone la bodega analizada en este trabajo y la analizada por los otros autores. La bodega típica de una firma internacional, constituye variados ámbitos de producción, en tanto las firmas locales presentan espacios más reducidos con sistemas de acondicionamiento térmico menos intensivos. Por otra parte en este trabajo se pondera la carga térmica en el núcleo del vino, en tanto otros trabajos se enfocan en un análisis a partir de la tarifa eléctrica y del funcionamiento de los equipos como indicadores de la demanda de frío.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa *Vitícola Cuyo SA*, por proveer las instalaciones industriales para llevar a cabo el monitoreo térmico. Se agradece al Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPha), por proveer los instrumentos realizar las mediciones. Se agradece particularmente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) por financiar el proyecto de investigación enmarcado en la Tesis de Doctorado (2013) de la Dra-Arq. Ramos Sanz, Alba I.

NOMENCLATURAS

h_c ; coeficiente superficial de transferencia de calor por convección

h_r ;coeficiente superficial de transferencia de calor por radiación

Ra ; número de Rayleigh

Pr ; número de Prandtl

Re ; número de Reynolds

g ; constante gravitacional
 λ_{fluid} ; conductividad térmica del fluido
 ν_{fluid} ; viscosidad cinemática del fluido
 v_{fluid} ; velocidad del fluido
 α_{fluid} ; difusividad térmica
 T_e ; temperatura del aire exterior
 T ; temperatura del vino
 H ; altura del tanque

REFERENCIAS

- Department of Industry, Tourism and Resources (2012), <http://industry.gov.au>
- Forsyth, K. (2012) *Improving Wine Refrigeration Efficiency*. Australian Wine Research Institute, 2012.
- Galitsky, C.; Worrell, E.; Radspieler, A.; Healy, P.; Zechiel, S. (2005) *BEST Winery Guidebook. Benchmarking and Energy and Water Savings Tool for the wine industry*. LBNL-3184
- INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN (1996) IRAM11603 *Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina.
- Labs, K. (1982) *Regional Analysis of ground and underground climate conclusion*. Underground Space (7) págs. 37-65.
- Martín Ocaña, S.; Cañas, I. (2005) *Study of the thermal behavior of traditional wine cellars: the case study of the area of Tierras Sorianas del Cid (Spain)* ELSEVIER, Renewable Energy 30 (2005) págs. 43-55
- Ramos Sanz, A. (2014) *El Confort del Vino en la Envolvente Industrial. Estudio de casos de vasijas vinarias de Bodegas argentinas*. Editorial Publicia, Saarbrücken, Alemania, 2014. ISBN 978-3-639-55635-3.

ABSTRACT: The present research aims to show the economic-thermal and energy saving in winemaking tanks as results of applying passive design strategies. The study is based on a wine conservation temperature average defined at 15°C, insert into a continental warm-arid climate. Winemaking tank shape and environmental empirical data are collected with Data Loggers in order to develop a tank and winery shapes physical-thermal model in stationary state. The model includes climate and physicals variables from the winery shape but also from the mass wine tank. Through the thermal simulation tool, physical and climate variables are instrumented in the passive strategies experimental phase. Initial monetary inversion, payback period and money savings from reducing winemaking energy demands are some economics variables introduced in the model. Conclusions indicate that external thermal insulation in tank is the less-efficient strategy; in contrast, the cava or underground cistern construction is the most efficient one.

Palabras Clave: rational energy use, winemaking, bioclimatic design